

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Zoran Pranjić

Zagreb, 2010.

**Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:  
Željko Bogdan

Zoran Pranjić

Zagreb, 2010.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem  
i navedenom literaturom

Zahvala:

Zahvaljujem mentoru, prof. dr. sc. Željku Bogdanu na strpljenju, pomoći i korisnim savjetima.

Zahvaljujem se dipl. ing. Mislavu Čehilu na pomoći i savjetima oko rada u Excelu.

Posebnu zahvalu dugujem svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje te pružali konstantnu potporu tijekom svih godina studija.

## **SAŽETAK**

Cilj ovog rada je usporediti troškove proizvodnje električne energije iz četiri tipa elektrana: termoelektrane na ugljen, termoelektrane na plin, nuklearne elektrane i vjetroelektrane. Na početku će biti rečeno nešto o ekonomiji ova četiri tipa elektrana, njihovim varijabilnim i fiksnim troškovima te eksternim troškovima koji su potrebni kao ulazni podaci.

Program koji će omogućiti izračunavanje očekivane cijene električne energije u životnom vijeku pojedine elektrane je napravljen u programskom jeziku Visual Basicu. Usporedba cijena električne energije je napravljena bez uvrštenih eksternih troškova i s uvrštenim eksternim troškovima pri čemu su dani pripadajući dijagrami.

Nakon što su dobivene cijene električne energije napravljena je analiza utjecaja gradnje pojedine elektrane na ekonomska kretanja u Hrvatskoj koristeći Okunov zakon. Usporedbom se može vidjeti koliko će se povećati ili smanjiti bruto društveni proizvod prilikom gradnje pojedinog tipa elektrane te kako će to utjecati na stvaranje novih radnih mjesta u Hrvatskoj.

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	6
POPIS TABLICA.....	7
POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA .....	8
1. UVOD.....	9
2. IZRAZ ZA PRORAČUN CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	10
3. EKONOMIJA ELEKTRANA .....	12
3.1 Termoelektrane na ugljen.....	12
3.2 Termoelektrane na plin.....	13
3.3 Nuklearne elektrane .....	14
3.4 Vjetroelektrane .....	15
3.5 Utjecaj elektrana na okoliš (eksterni troškovi).....	17
4. PRORAČUN CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE.....	18
4.1 Ulazni podaci za proračun .....	18
4.2 Proračun cijene – termoelektrana na ugljen.....	19
4.2.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod termoelektrane na ugljen.....	22
4.3 Proračun cijene – kombinirano postrojenje na plin.....	23
4.3.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima za termoelektranu na plin.....	26
4.4 Proračun cijene – nuklearna elektrana .....	27
4.4.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod nuklearne elektrane .....	30
4.5 Proračun cijene – vjetroelektrana.....	31
4.5.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod vjetroelektrane .....	34
4.6 Usporedba cijene električne energije za četiri tipa elektrana .....	36
5. EKONOMSKO-SOCIJALNE IMPLIKACIJE .....	38
5.1 Okunov zakon .....	38
5.2 Utjecaj gradnje pojedinih elektrana na ekonomiju Hrvatske.....	40
LITERATURA: .....	45

## **POPIS SLIKA**

Slika 1. Cijene goriva u €/GJ [4] .....	13
Slika 2. Eksterni troškovi u 15 zemalja Europske Unije u 2003. godini [9] .....	17
Slika 3. Tablica s ulaznim podacima .....	18
Slika 4. Dobivena cijena bez ET za TE na ugljen .....	22
Slika 5. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za TE na ugljen .....	22
Slika 6. Dobivena cijena s ET u Excelu za TE na ugljen .....	22
Slika 7. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za TE na ugljen .....	23
Slika 8. Dobivena cijena bez ET u Excelu za TE na plin .....	26
Slika 9. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za TE na plin .....	26
Slika 10. Dobivena cijena bez ET u Excelu .....	26
Slika 11. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za TE na plin .....	27
Slika 12. Dobivena cijena bez ET u Excelu za nuklearnu elektranu .....	30
Slika 13. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za nuklearnu elektranu .....	30
Slika 14. Dobivena cijena s ET u Excelu za nuklearnu elektranu .....	30
Slika 15. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za nuklearnu elektranu .....	31
Slika 16. Dobivena cijena bez ET u Excelu za vjetroelektranu .....	34
Slika 17. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za vjetroelektranu .....	34
Slika 18. Dobivena cijena s ET za vjetroelektranu .....	34
Slika 19. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za vjetroelektranu .....	35
Slika 20. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za 4 tipa elektrana .....	36
Slika 21. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za 4 tipa elektrana .....	37
Slika 22. Promjena stope nezaposlenosti u odnosu na stopu rasta domaćeg proizvoda [10] ..	38
Slika 23. Potrebni podaci uvršteni u Excelu .....	40
Slika 24. Srednje vrijednosti ulaznih podataka .....	41
Slika 25. Analiza ekonomskih implikacija gradnje pojedine elektrane .....	41
Slika 26. Troškovi dekomisije za nuklearnu elektranu .....	43

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Siječanj 2010., aproksimativni troškovi za dobivanje 1kg urana kao goriva za reaktor [5] .....	15
Tablica 2. Struktura troškova tipične vjetroelektrane od 2 MW [7] .....	16

## POPIS OZNAKA I MJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

Oznaka	Mjerna jedinica	Opis
$I_n$	€/KWh	- specifična investicija
$c_{os}$	€/KWh	- stalni troškovi pogona i održavanja
$c_g$	€/GJ, €/kWh	- cijena goriva
$c_{op}$	€/KWh	- promjenjivi troškovi pogona i održavanja
$N$	godina	- radni vijek elektrane
$N$	godina	- razdoblje otplate kredita
$p$	%	- prosječne kamate na kredite
$a$	%	- diskontna stopa
$p_g$	%	- pretpostavljena prosječna stopa porasta cijene goriva u životnom vijeku elektrana
$\eta$	%	- učinkovitost pretvorbe toplinske u električnu energiju
$f_o$	%	- prosječno iskorištenje instalirane snage
$ET$	€/kWh	- eksterni troškovi
$c_{ex}$	€/kWh	- trošak CO <sub>2</sub>
$P_E$	MW	- električna snaga
$E_E$	GWh	- proizvodnja električne energije
$c_{gc}$	€/kWh	- trošak goriva (s CO <sub>2</sub> troškom)



## **1. UVOD**

Za svoj završni rad sam odabrao temu koja se bavi proračunom diskontirane prosječne cijene električne energije iz četiri elektrane: termoelektrane na ugljen, termoelektrane na plin s kombiniranim ciklusom, nuklearne elektrane i vjetroelektrane. Proračun cijene električne energije za četiri elektrane je trebalo provesti koristeći probabilističku analizu radi procjene utjecaja nesigurnosti ulaznih podataka. Cijenu proizvedene električne energije iz sve četiri elektrane sam izračunao uvrštavajući fiksne i varijabilne troškove, i to prvo bez uvrštavanja eksternih troškova, a zatim i s eksternim troškovima. Proračun je proveden u Excelu i Visual Basicu.

Za proračun je bilo potrebno prikupiti najnovije podatke o cijenama investicije za sve četiri elektrane, zatim uvjetima kreditiranja, fiksnim i varijabilnim troškovima održavanja, današnjoj cijeni goriva i godišnjem porastu cijene goriva, diskontnim stopama, prosječnim kamatama na kredite i tako dalje. Treći dio zadatka je bio procijeniti konkurentnost pojedine elektrane s posebnim osvrtom na potencijal hrvatske industrije da se uključi u gradnju.

## 2. IZRAZ ZA PRORAČUN CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Temeljni pokazatelj koji je potreban za analizu konkurentnosti elektrana kandidata za gradnju je prosječna cijena proizvedene električne energije tijekom životne dobi tih elektrana. Pri određivanju cijene električne energije u račun je uzeto očekivano povećanje cijene goriva i cijena utjecaja na okoliš (eksterni troškovi). Za ovu svrhu je prikladan način proračuna metoda proračun prosječne diskontirane cijene proizvedene energije na pragu elektrane, koja je dobivena kao odnos diskontiranih troškova i diskontirane dobiti u životnom vijeku elektrane [1]. To je takozvana probabilistička analiza i ona je potrebna radi uvida u utjecaj nesigurnosti procjene ulaznih podataka proračuna na konačni rezultat te procjene rizika investitora u slučaju odluke o gradnji pojedinog tipa elektrane.

U ovoj analizi prvo je izračunata cijena proizvedene električne energije za pojedini tip elektrane bez eksternih troškova, a zatim su u cijenu uključeni i eksterni troškovi. Izraz za proračun cijene električne energije bez eksternih troškova koji je korišten u ovoj analizi ima oblik:

$$c_e = \frac{1}{8760 f_0} \left[ \frac{I_n p}{1 - (1 + p)^{-n}} \frac{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1 + a)^k}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1 + a)^k}} + c_{os} \right] + c_g \frac{\sum_{k=1}^N \frac{(1 + p_g)^k}{(1 + a)^k}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1 + a)^k}} + c_{op} \quad (1)$$

gdje je,

$c_e$  - cijena proizvedene električne energije (€/kWh)

$p$  - kamatna stopa za povrat uloženog kapitala u gradnju elektrane

$n$  - broj godina povrata kredita

$N$  - broj godina rada elektrane

$I_n$  - jedinična investicija na pragu elektrane (€/kW) svedena na početak pogona  
(s uključenim interkalarnim kamatama)

$c_{os}$  - stalni troškovi pogona i održavanja, bez goriva po jedinici snage na pragu elektrane (€/kW)

$c_g$  - cijena goriva (€/kWh) na pragu elektrane

$c_{op}$  - promjenjivi troškovi pogona i održavanja po jedinici proizvedene energije na pragu elektrane (€/kWh)

$f_0$  - faktor iskorištenja instalirane snage

$a$  - diskontna stopa

$p_g$  - stopa porasta cijene goriva

Kada se u ovu formulu uključe i eksterni troškovi ona poprima ovakav oblik:

$$c_e = \frac{1}{8760 f_0} \left[ \frac{I_n p}{1 - (1 + p)^{-n}} \frac{\sum_{k=1}^n \frac{1}{(1 + a)^k}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1 + a)^k}} + c_{os} \right] + c_g \frac{\sum_{k=1}^N \frac{(1 + p_g)^k}{(1 + a)^k}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{(1 + a)^k}} + c_{op} + ET \quad (2)$$

gdje dodatak ET predstavlja eksterne troškove izražene u €/kWh.

Za ulazne podatke su zadane granične vrijednosti parametara (one su dobivene analizom postojećih podataka i prognoza), tj. za svaki ulazni podatak je zadana minimalna i maksimalna vrijednost. Program koji vrši proračun je napravljen u Visual Basicu i Excelu te on računa 2000 puta (može i više puta ako se tako odredi) cijenu električne energije. Cijena koja se najviše puta ponavlja (zaokružena na tri decimale) je najvjerojatnija cijena proizvedene električne energije iz pojedinog tipa elektrane što nam omogućava da uspoređujemo konkurentnost različitih elektrana.

### **3. EKONOMIJA ELEKTRANA**

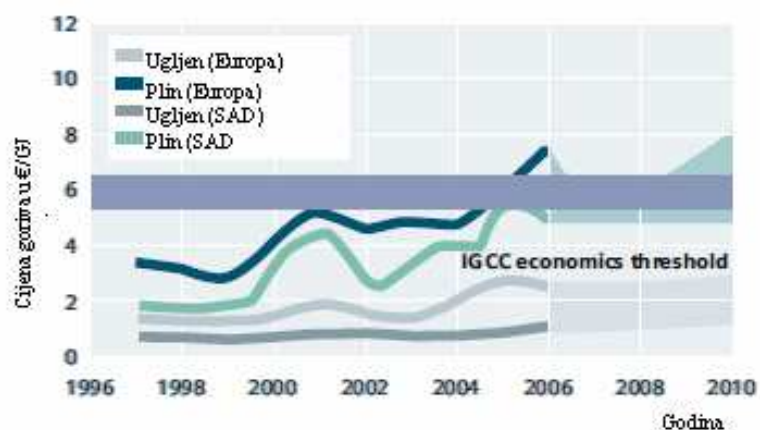
Pri odluci o tome koji tip elektrane je najbolje graditi, važno je dobro ekonomski analizirati konkurentnost pojedine elektrane. Treba prikupiti podatke o cijenama investicije u pojedinu elektranu, vidjeti kako se kreću cijene goriva na svjetskom tržištu, napraviti usporedbu troškova održavanja za elektrane, procijeniti godišnji porast cijene goriva i tako dalje. Važno je također razmisliti o sigurnosti dobave pojedinog energenta.

#### **3.1 Termoelektrane na ugljen**

Ugljen danas u svijetu čini oko 26% primarne energije te sudjeluje u proizvodnji električne energije s oko 40% [2] Energetska vrijednost utvrđenih zaliha ugljena je puno veća od energetske vrijednosti zaliha drugih fosilnih goriva. Potrošnja ugljena je manja od potrošnje plinovitih i tekućih goriva unatoč velikim zalihama ugljena, a očekuje se da će tako biti i u buduću. Ugljen je energent kojega ima na svim kontinentima, tako da je sigurnost dobave puno veća nego kod plina. Ugljen koji se preferira za upotrebu je onaj koji ima visoku kaloričnu vrijednost i s malim sadržajem sumpora (1,2% i manje) [1].

Svi troškovi kapitala kod termoelektrana na ugljen nastanu prije nego elektrana počne raditi. Gradnja termoelektrane na ugljen traje tri do četiri godine. Troškovi pogona i održavanja su primarno zapošljavanje radnika, održavanje i popravljavanje strojeva u elektrani tijekom njezinog životnog vijeka. Trošak goriva je cijena koja se plaća za kupnju ugljena. Po gruboj procjeni, u tipičnoj američkoj termoelektrani na ugljen troškovi investicije utječu s oko 55 %, troškovi pogona i održavanja s oko 15 %, a troškovi goriva s oko 30 % na cijenu električne energije [3].

Cijena ugljena se danas kreće otprilike između 2,2 €/GJ i 2,6 €/GJ (slika 1.) u Europi i puno je manja nego kod plina, no učinkovitost pretvorbe toplinske u mehaničku energiju je manja kod termoelektrana na ugljen (oko 42 %) nego kod termoelektrana na plin s kombiniranim plinsko-parnim ciklusom (čak do 60 %). Investicijski troškovi za gradnju termoelektrana na ugljen su dosta visoki (jedino su kod nuklearnih elektrana viši) i kreću se između 2000 €/kW i 2300 €/kW, a i veliki nedostatak ovih termoelektrana je izraziti utjecaj na okoliš što povećava njihove eksterne troškove koji su za desetak puta veći nego kod nuklearnih elektrana i vjetroelektrana, a oko dva puta veći nego kod termoelektrana na plinovito gorivo.



*Slika 1. Cijene goriva u €/GJ [4]*

### **3.2 Termoelektrane na plin**

Plin kao gorivo je superiornije od ugljena i zato je puno skuplje. Cijena plina se u pravilu vezala za cijenu nafte, ali to ne mora biti tako i u budućnosti. Zbog prednosti plina kao energenta njegova je potrošnja šira od potreba energetike. Plin se koristi u industriji i domaćinstvima, a ti potrošači imaju prednost jer plaćaju veću cijenu i teže mogu zamijeniti energent. To je jedna od razlika između plina i ugljena jer se ugljen puno manje primjenjuje izvan energetike. Zalihe prirodnog plina su neravnomjerno raspoređene u svijetu (i u tom se pogledu plin razlikuje od ugljena) pa postoji mogućnost da zbog političkih odluka pojedine zemlje ostanu plina. Na području Rusije i Bliskog Istoka se nalazi oko 70 % dokazanih nalazišta plina, dok glavni centri potrošnje tog energenta raspolažu sa znatno manjim nalazištima. Problem u ekonomskom planiranju termoelektrana na plin predstavlja mogućnost povećanja cijene goriva u životnom vijeku elektrane jer znatnije povećanje cijene goriva može u potpunosti poremetiti početne računice o isplativosti postrojenja [1]. Cijena plina bi mogla rasti ne zato što bi se plin mogao iscrpiti (bar ne u bliskoj budućnosti) već zbog sve veće potražnje za tim energentom i potrebe za ulaganje i gradnju novih plinovoda.

Danas je cijena plina veća od ugljena oko četiri puta, a od urana više od deset puta. To je glavni nedostatak gradnje termoelektrane na plin u odnosu na druge elektrane. Ako govorimo o kombiniranom postrojenju, iskoristivost takvog postrojenja danas može biti čak 60 % što je puno više nego kod termoelektrana na ugljen, nuklearnih elektrana i vjetroelektrana. Termoelektrane na ugljen imaju iskoristivost od 40-ak %, vjetroelektrane do 25 %, dok nuklearne elektrane imaju do 34 % i to uglavnom zbog visokih zahtjeva za sigurnošću koje se pred njih postavljaju. Prednost gradnje kombiniranog postrojenja na plin u odnosu na druga

postrojenja su izrazito mali investicijski troškovi po jedinici snage, koji su oko dva puta manji nego kod termoelektrana na ugljen i više od tri puta manji nego kod nuklearnih elektrana. Vjetroelektrane imaju neznatno više troškove investicije od kombiniranog postrojenja.

Eksterni troškovi za plin su veći od eksternih troškova za nuklearnu elektranu i vjetroelektranu, ali su dosta manji nego kod termoelektrane na ugljen kojoj je upravo veliki nedostatak utjecaj na okoliš. Također, prednost kombiniranog postrojenja na plin su i relativno niski stalni troškovi pogona i održavanja u odnosu na druge elektrane, osim u usporedbi s vjetroelektranama koje imaju slične troškove pogona i održavanja. Stalni troškovi pogona i održavanja kod kombiniranog postrojenja su između 25 €/kW i 30 €/kW te su oko dva puta manji nego kod termoelektrane na ugljen, a više od pet puta manji nego kod nuklearnih elektrana.

### **3.3 Nuklearne elektrane**

Nuklearne elektrane u pravilu imaju visoke investicijske troškove, ali cijena goriva je puno manja nego kod drugih tipova elektrana. Energija dobivena iz nuklearnih elektrana je konkurentna energiji iz elektrana na fosilna goriva unatoč visokim investicijskim troškovima, troškovima dekomisije i potrebi da se internacionalizira odlaganje cjelokupnog nuklearnog otpada. Kada bi se u obzir uzeli socijalni, zdravstveni i troškovi zagađenja okoliša fosilnim gorivima ekonomija nuklearnih elektrana je odlična u usporedbi s termoelektranama na fosilna goriva [5].

Zbog visokih investicijskih troškova i dugog vremenskog razdoblja gradnje nuklearnih elektrana servisiranje investicijskih troškova je najvažniji faktor u određivanju ekonomske isplativosti nuklearnih elektrana. Investicijski troškovi mogu pridonijeti i sa 70-80 % u cijeni električne energije proizvedene u nuklearnim elektranama. Također, odabir diskontne stope na troškove investicije nuklearne elektrane u njezinom životnom vijeku je među najosjetljivijim parametrima koji utječu na ekonomiju nuklearnih elektrana [6].

Eksterni troškovi nuklearnih elektrana su otprilike deset puta manji nego eksterni troškovi kod termoelektrana na ugljen i iznose u prosjeku oko 0,4 €centi/kWh. Za usporedbu, eksterni troškovi za ugljen su 4 €centa/kWh, a kod plina su 1,3-2,3 €centa/kWh. Pokazalo se da je samo vjetar bolji od nuklearne energije što se tiče eksternih troškova jer kod vjetra oni iznose u prosjeku 0,1-0,2 €centa/kWh [5].

Jedna od najvećih prednosti nuklearnih elektrana u odnosu na druge tipove elektrana je niska cijena goriva. Ipak, uran se mora obraditi, obogatiti i proizvesti u gorive elemente, a to je trošak koji čini oko pola cijene goriva (Tablica 1). No, uza sve to ukupna cijena goriva je za oko trećinu manja nego kod elektrana na ugljen, a četvrtinu ili čak petinu manja od cijene goriva za elektrane na plin.

*Tablica 1. Siječanj 2010., aproksimativni troškovi za dobivanje 1kg urana kao goriva za reaktor [5]*

<b>Uran</b>	<b>8,9 kg <math>U_3O_8</math> x \$115,5</b>	<b>US\$ 1028</b>
<b>Pretvorba</b>	<b>7,5 kg U x \$12</b>	<b>US\$ 90</b>
<b>Obogaćivanje</b>	<b>7,3 SWU x \$64</b>	<b>US\$ 1197</b>
<b>Proizvodnja goriva</b>	<b>po kg</b>	<b>US\$ 240</b>
<b>Ukupno</b>		<b>US\$ 2555</b>

Kod nuklearnih elektrana troškove povećava dekomisija i odlaganje otpada. Troškovi dekomisije variraju od 9 % do 15 % početnih troškova kapitala, ali kada se diskontiraju oni sudjeluju sa samo nekoliko posto u ukupnim investicijskim troškovima i još manje u troškovima proizvodnje [5]. Troškovi odlaganja nuklearnog otpada sudjeluju s oko 10 % u ukupnim troškovima po kWh. Cijena proizvodnje električne energije iz nuklearnih elektrana je pala od 1990.-ih pa do danas i to ponajprije zbog opadanja cijene goriva i troškova pogona i održavanja. Troškovi investicije su ipak veći od troškova investicije u termoelektrane na ugljen i plin zbog potrebe za korištenjem specifičnih materijala i zadovoljavanja strogih sigurnosnih mjera.

### **3.4 Vjetroelektrane**

Glavni parametri koji utječu na ekonomiju vjetroelektrana su investicijski troškovi, troškovi pogona i održavanja, diskontna stopa, životni vijek turbine te prosječna brzina vjetra koja utječe na proizvodnju električne energije. Najvažniji su ipak investicijski troškovi te proizvodnja električne energije na turbini. Proizvodnja električne energije u velikoj mjeri ovisi o tome puše li vjetar konstantno na izabranoj lokaciji te je za izbor lokacije potrebno provesti dugotrajna mjerenja. Izbor lokacije je kritičan za ekonomsku isplativost gradnje vjetroelektrana.

Trošak turbine dominira u ukupnoj investiciji. Udio turbine u ukupnoj investiciji iznosi oko 76 %, dok je spajanje na mrežu oko 9 %, a gradnja temelja oko 7 % ukupne investicije. Trošak nalaženja zemljišta na kopnu varira od projekta do projekta tako da bi se ovi podaci iz tablice 2 trebali uzeti samo kao primjer. Ostali troškovi čine samo mali dio ukupnih troškova.

**Tablica 2. Struktura troškova tipične vjetroelektrane od 2 MW [7]**

	Udio u investiciji (%)
Turbina	75,6
Temelji	6,5
Električne instalacije	1,5
Spajanje na mrežu	8,9
Kontrolni sustavi	0,3
Konzultanti	1,2
Zemljište	3,9
Financijski troškovi	1,2
Cesta	0,9
<b>Ukupno</b>	<b>100</b>

Ukupna investicija po kW instalirane snage je različita od zemlje do zemlje i kreće se između 1000 €/kW i 1350 €/kW (European Wind Energy Association - EWEA navodi između 900 €/kW i 1150 €/kW). Troškovi pogona i održavanja mogu činiti veliki dio godišnjih troškova vjetroelektrane, čak 20-25 % ukupnih troškova po proizvedenom kWh tijekom životnog vijeka vjetroelektrane [7]. EWEA navodi da su troškovi pogona i održavanja oko 1,2 €centi/kWh tijekom dvadesetogodišnjeg životnog vijeka vjetroelektrane [8]. Troškovi investicije koji se ogledaju u diskontnoj stopi su veoma važan faktor, pa je ekonomija vjetroelektrana veoma ovisna o kamatnim stopama koje se nude za gradnju vjetroelektrana.

Kao što je već spomenuto, za profitabilnost vjetroelektrane važna je lokacija gdje će se graditi jer ona uvelike utječe na cijenu proizvedene električne energije. Proizvodnja energije na turbini je pojedinačno najvažniji faktor za izračunavanje cijene proizvedene električne energije po jedinici snage. Za lokacije gdje je niska prosječna brzina vjetra cijena proizvedene električne energije se kreće između 7-10 €centi/kWh dok ta cijena na vjetrovitim obalnim lokacijama pada na 5-6,5 €centi/kWh [7].



### 3.5 Utjecaj elektrana na okoliš (eksterni troškovi)

Eksterni trošak nastaje kada ekonomske i socijalne aktivnosti jedne grupe ljudi utječu na drugu grupu ljudi te kada taj učinak nije uzet u obzir ili nadoknađen od strane prve grupe ljudi. Stoga, elektrana koja proizvodi emisije  $\text{SO}_2$ , uzrokujući štetu na materijalima zgrada ili utječući negativno na zdravlje ljudi predstavlja eksterni trošak [9].

Gradnja i pogon svih tipova elektrana nepovoljno utječu na okoliš. No, utjecaj na okoliš nije isti kod svih elektrana i to treba uzeti u obzir prilikom planiranja i gradnje elektrana. Kako bi se odredilo koliko pojedini tip elektrane utječe na okoliš uvedeni su eksterni troškovi elektroenergetskih postrojenja. U SAD-u su izvršene opsežne studije kojima je ispitana ovisnost oboljenja dišnih organa populacije u blizini termoelektranih postrojenja o koncentraciji krutih čestica i aerosola. Aerosoli nastaju u atmosferi kao posljedica emisija sumpornih i dušičnih oksida. Te su studije korištene za kvantificiranje štete u okolišu zbog pogona termoelektrana u okviru studija Europske Zajednice ExternE 1995. i 1998. godine [1].

Eksterni trošak neke elektrane nije jednoznačna veličina jer su bitni lokalni i regionalni utjecaji koji ovise o lokaciji elektrane i površini zahvaćenog područja, meteorološkim uvjetima za raspršenje emisija te računskoj vrijednosti statističkog života u području zahvaćenom emisijama. Ukupni utjecaj neke elektrane na okoliš i zdravlje ljudi ovisi o prizemnoj koncentraciji krutih čestica i aerosola, gustoći populacije, zahvaćenom području i statističkoj vrijednosti ljudskog života [1]. Određivanje eksternog troška zbog emisija ugljičnog dioksida iz termoelektrana je puno teže jer šteta nije vezana za lokaciju elektrane nego se radi o globalnom utjecaju.

Eksterni troškovi za proizvodnju električne energije za postojeće tehnologije u Europskoj Uniji  
U €centima/kWh

Zemlja	Ugljen i lignit	Treset	Nafta	Plin	Nuklearna	Biomasa	Hidro	PV	Vjetar
AT				1-3		2-3	0.1		
BE	4-15			1-2	0.5				
DE	3-6		5-8	1-2	0.2	3		0.6	0.05
DK	4-7			2-3		1			0.1
ES	5-8			1-2		3-5**			0.2
FI	2-4	2-5				1			
FR	7-10		8-11	2-4	0.3	1	1		
GR	5-8		3-5	1		0-0.8	1		0.25
IE	6-8	3-4							
IT			3-6	2-3			0.3		
NL	3-4			1-2	0.7	0.5			
NO				1-2		0.2	0.2		0-0.25
PT	4-7			1-2		1-2	0.03		
SE	2-4					0.3	0-0.7		
UK	4-7		3-5	1-2	0.25	1			0.15

Slika 2. Eksterni troškovi u 15 zemalja Europske Unije u 2003. godini [9]

## 4. PRORAČUN CIJENE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Kako bi se izračunala cijena električne energije iz četiri elektrane (termoelektrana na ugljen, kombinirano postrojenje na plin, nuklearna elektrana i vjetroelektrana) bilo je potrebno napisati program koji će izvršiti proračun određeni broj puta uzimajući nasumične vrijednosti između zadanih graničnih vrijednosti. Program je pisan u Visual Basicu, a rezultati se očitavaju u Excelu. Prvo je proračunata vrijednost električne energije bez uvrštavanja eksternih troškova, a zatim i s eksternim troškovima.

### 4.1 Ulazni podaci za proračun

U tablicu u Excelu se unose ulazni podaci koji su potrebni za proračun koji se provodi preko izraza (1) i (2). Tablica u Excelu izgleda ovako:

Vrsta elektrane			TE ugljen		Kombi- plin		Nuklearna e		Vjetroelektrana	
	Jedinica	Oznaka	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Specifična investicija	eur/kW	$I_n$	2000	2300	850	950	3000	3500	1000	1350
Stalni troškovi pogona i održavanja	eur/kW	$c_{os}$	50	70	25	30	150	200	20	30
Cijena goriva	eur/GJ	$c_g$	2.2	2.6	7	8	0.5	0.7	0	0
Promjenjivi troškovi pogona i održavanja	eur/kWh	$c_{op}$	0.003	0.004	0.0025	0.003	0.0075	0.0095	0.0015	0.0035
Radni vijek elektrane	godina	$N$	30	30	25	25	40	60	20	20
Razdoblje otplate kredita	godina	$n$	15	20	14	16	15	20	12	16
Prosječne kamate na kredite	-	$p$	0.055	0.075	0.055	0.075	0.055	0.075	0.055	0.075
Diskontna stopa	-	$a$	0.05	0.01	0.05	0.1	0.05	0.1	0.05	0.1
Stopa porasta cijene goriva	-	$pg$	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	0.02	0	0
Iskoristivost	-	$\eta$	0.38	0.42	0.5	0.6	0.32	0.034	0.2	0.25
Prosječno iskorištenje instalirane snage	-	$fo$	0.8	0.9	0.6	0.8	0.85	0.9	0.2	0.3
Eksterni trošak	€/kWh	ET	0.041	0.073	0.013	0.023	0.002	0.007	0.0005	0.002
Broj proračuna	x	2000								

Slika 3. Tablica s ulaznim podacima

Specifična investicija ( $I_n$ ) i stalni troškovi pogona i održavanja ( $c_{os}$ ) se zadaju u €/kW, dok se promjenjivi troškovi pogona i održavanja ( $c_{op}$ ) i eksterni troškovi (ET) zadaju u €/kWh. Cijena goriva se upisuje u €/GJ. Ostali ulazni podaci su zadani u postocima te se u tablicu mogu upisati kao postotne ili brojčane vrijednosti. Ulazni podaci se zadaju u rasponu između minimalne i maksimalne vrijednosti (to su vjerojatne granične vrijednosti dobivene na temelju analize postojećih podataka i prognoza [1]). U tablicu se upisuje i vrijednost x, a ona predstavlja broj proračuna izraza (1) i (2) koje program mora izvršiti sa slučajno odabranim varijablama unutar graničnih vrijednosti. Ja sam analizu izvršio s 2000 proračuna. Cijena električne energije koja se najviše puta ponavlja u tih 2000 proračuna je najvjerojatnija cijena električne energije za pojedinu elektranu.

## 4.2 Proračun cijene – termoelektrana na ugljen

Program za proračun cijene električne energije bez eksternih troškova napisan u Visual Basicu za termoelektranu na ugljen izgleda ovako:

```
Sub Cijena_ugljen()

Dim i As Integer
Dim nmin, nmax As Integer
Dim Namin, Namax As Integer

x = Sheets("Tablica").Range("F21") 'broj proračuna'

Cgmin = Sheets("Tablica").Range("G8")
Cgmax = Sheets("Tablica").Range("H8")

Cgmin1 = (Cgmin * 36) / 10 ^ 4 'preračunavne cijene goriva iz
Cgmax1 = (Cgmax * 36) / 10 ^ 4 '€/GJ u €/kWh

For i = 1 To x

Inmin = Sheets("Tablica").Range("G6")
Inmax = Sheets("Tablica").Range("H6")
Inx = (Inmax - Inmin) * Rnd + Inmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 2) = Inx

Cosmin = Sheets("Tablica").Range("G7")
Cosmax = Sheets("Tablica").Range("H7")
Cosx = (Cosmax - Cosmin) * Rnd + Cosmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 3) = Cosx

Cgx = (Cgmax1 - Cgmin1) * Rnd + Cgmin1
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 4) = Cgx

Copmin = Sheets("Tablica").Range("G9")
Copmax = Sheets("Tablica").Range("H9")
Copx = (Copmax - Copmin) * Rnd + Copmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 5) = Copx

Namin = Sheets("Tablica").Range("G10")
Namax = Sheets("Tablica").Range("H10")
Nax = (Namax - Namin) * Rnd + Namin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 6) = Nax

nmin = Sheets("Tablica").Range("G11")
nmax = Sheets("Tablica").Range("H11")
nx = (nmax - nmin) * Rnd + nmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 7) = nx

End Sub
```

```
pmin = Sheets("Tablica").Range("G12")
pmax = Sheets("Tablica").Range("H12")
px = (pmax - pmin) * Rnd + pmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 8) = px
```

```
amin = Sheets("Tablica").Range("G13")
amax = Sheets("Tablica").Range("H13")
ax = (amax - amin) * Rnd + amin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 9) = ax
```

```
pgmin = Sheets("Tablica").Range("G14")
pgmax = Sheets("Tablica").Range("H14")
pgx = (pgmax - pgmin) * Rnd + pgmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 10) = pgx
```

```
etamin = Sheets("Tablica").Range("G15")
etamax = Sheets("Tablica").Range("H15")
etax = (etamax - etamin) * Rnd + etamin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 11) = etax
```

```
fomin = Sheets("Tablica").Range("G16")
fomax = Sheets("Tablica").Range("H16")
fox = (fomax - fomin) * Rnd + fomin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 12) = fox
```

```
d1 = 1 / (8760 * fox)
d2 = (Inx * px) / (1 - (1 + px) ^ (-nx))
```

```
M = Round(nx, [0])
L = Round(Nax, [0])
```

```
d3a = 0
For k = 1 To M
d3a = d3a + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next
```

```
d3b = 0
For k = 1 To L
d3b = d3b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next
```

```
d3 = d3a / d3b
```

```
d4 = Cosx
d5 = Cgx / etax
```

```
d6a = 0
For k = 1 To L
```

```
d6a = d6a + ((1 + pgx) ^ k) / ((1 + ax) ^ k)
Next
```

```
d6b = 0
For k = 1 To L
d6b = d6b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next
```

```
d6 = d6a / d6b
```

```
d7 = Copx
```

```
cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7
cex = Round(cex, 3)
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 14) = cex
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

Funkcija Rnd koja je korištena u Visual Basicu osigurava da se za svaki ulazni podatak generiraju nasumične brojeke unutar graničnih vrijednosti i to onoliko puta koliko odredimo preko broja proračuna x koji se upisuje u tablici. Izraz (1) je podijeljen na dijelove (d1, d2, d3, d4, d5, d6 i d7) te je na taj način napisan u programu. Svaki ulazni podatak i cijena električne energije se ispisuju u Excelu, u zadanom listu onoliko puta koliko smo odredili preko x varijable. Cijena električne energije ( $c_{ex}$ ) je zaokružena na tri decimale i izračunata je 2000 puta. Određivanje broja ponavljanja pojedine cijene kako bi se dobila ona najrealnija, tj. ona koja se najviše puta ponavlja unutar 2000 izračuna nije napravljeno u Visual Basicu već u Excelu. Korištena je funkcija MODE koja u određenom nizu vraća broj koji se najviše puta ponavlja u tom nizu. Također su u Excelu određene minimalna i maksimalna cijena koje se javljaju u proračunu. Za to su korištene funkcije MIN i MAX koje vraćaju vrijednost minimalnog i maksimalnog broja u određenom nizu.

Na gore prikazan način je izračunata cijena električne energije bez uvrštavanja eksternih troškova. Kako bi se izračunala cijena s uvrštenim eksternim troškovima trebalo je u formulu dodati vrijednosti eksternih troškova, te je na taj način izraz (1) prešao u izraz (2). U Visual Basicu su dodani ovi dodaci:

```
...
ETmin = Sheets("Tablica").Range("G17")
```

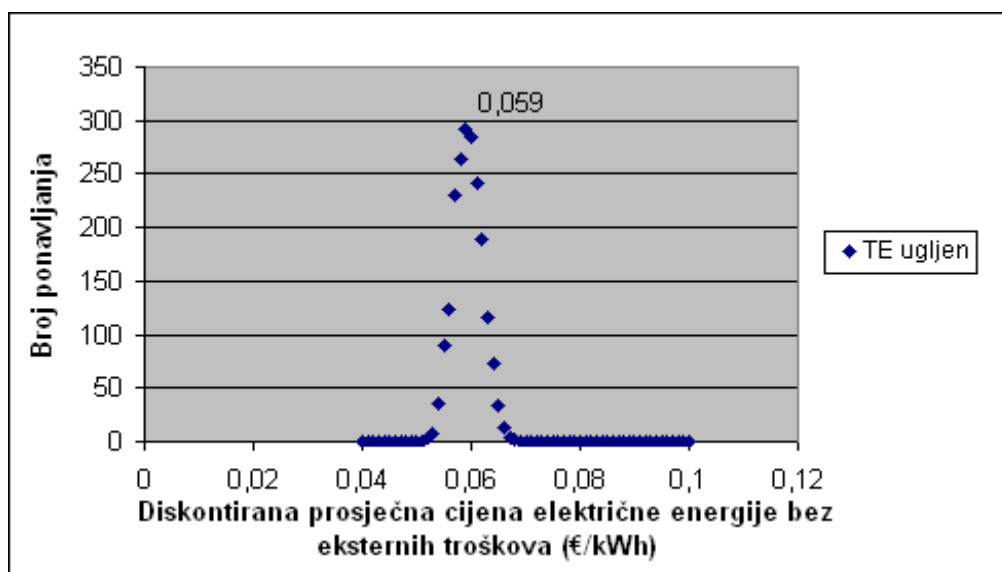
```
ETmax = Sheets("Tablica").Range("H17")
ETx = (ETmax - ETmin) * Rnd + ETmin
Sheets("TE ugljen").Cells(i + 7, 13) = ETx
...
d8 = ETx
...
cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7 + d8
...
```

#### 4.2.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod termoelektrane na ugljen

Dobivena cijena električne energije bez eksternih troškova se kreće u rasponu od 0,052 €/kWh do 0,068 €/kWh. Cijena koja se najviše puta ponavlja u proračunu je 0,059 €/kWh i ta cijena se uzima kao najrealnija.

Maksimum	0,068
Minimum	0,052
Cijena koja se najviše ponavlja	0,059

*Slika 4. Dobivena cijena bez ET za TE na ugljen*

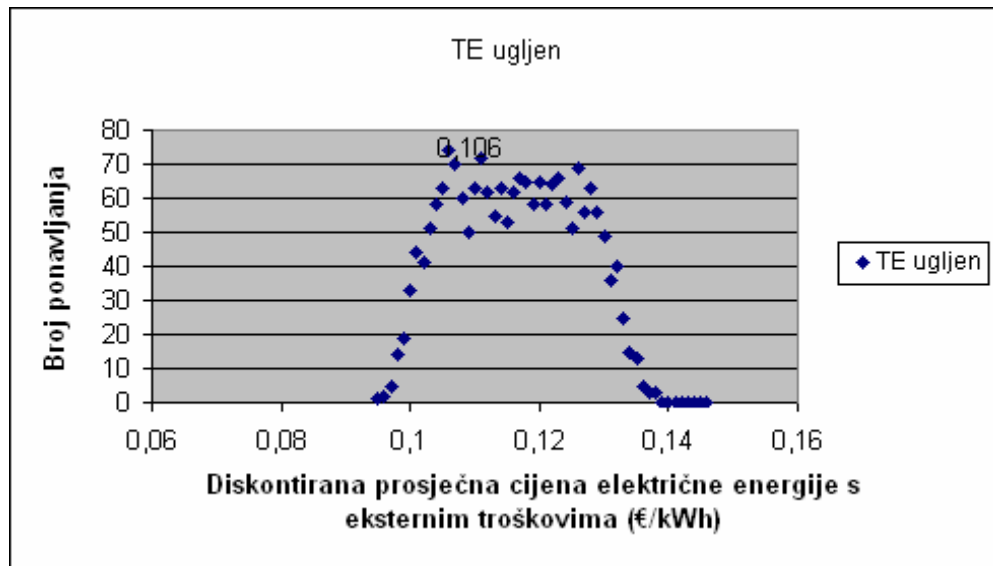


*Slika 5. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za TE na ugljen*

Uvrštavanjem eksternih troškova koji se kreću između 4 i 7 €centi/kWh cijena proizvedene električne energije poraste na 0,106 €/kWh.

Maksimum	0,138
Minimum	0,095
Cijena koja se najviše ponavlja	0,106

*Slika 6. Dobivena cijena s ET u Excelu za TE na ugljen*



Slika 7. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za TE na ugljen

### 4.3 Proračun cijene – kombinirano postrojenje na plin

Program za proračun cijene električne energije bez eksternih troškova napisan u Visual Basicu za kombinirano postrojenje na plin izgleda ovako:

```
Sub Cijena_plin()
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim nmin, nmax As Integer
```

```
Dim Namin, Namax As Integer
```

```
x = Sheets("Tablica").Range("F21") 'Broj proračuna'
```

```
Cgmin = Sheets("Tablica").Range("J8")
```

```
Cgmax = Sheets("Tablica").Range("K8")
```

```
Cgmin1 = (Cgmin * 36) / 10 ^ 4 'preračunavne cijene goriva iz
```

```
Cgmax1 = (Cgmax * 36) / 10 ^ 4 '€/GJ u €/kWh
```

```
For i = 1 To x
```

```
Inmin = Sheets("Tablica").Range("J6")
```

```
Inmax = Sheets("Tablica").Range("K6")
```

```
Inx = (Inmax - Inmin) * Rnd + Inmin
```

```
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 2) = Inx
```

```
Cosmin = Sheets("Tablica").Range("J7")
```

```
Cosmax = Sheets("Tablica").Range("K7")
```

```
Cosx = (Cosmax - Cosmin) * Rnd + Cosmin
```

```
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 3) = Cosx
```

$Cgx = (Cgmax1 - Cgmin1) * Rnd + Cgmin1$   
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 4) = Cgx

Copmin = Sheets("Tablica").Range("J9")  
Copmax = Sheets("Tablica").Range("K9")  
Copx = (Copmax - Copmin) \* Rnd + Copmin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 5) = Copx

Namin = Sheets("Tablica").Range("J10")  
Namax = Sheets("Tablica").Range("K10")  
Nax = (Namax - Namin) \* Rnd + Namin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 6) = Nax

nmin = Sheets("Tablica").Range("J11")  
nmax = Sheets("Tablica").Range("K11")  
nx = (nmax - nmin) \* Rnd + nmin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 7) = nx

pmin = Sheets("Tablica").Range("J12")  
pmax = Sheets("Tablica").Range("K12")  
px = (pmax - pmin) \* Rnd + pmin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 8) = px

amin = Sheets("Tablica").Range("J13")  
amax = Sheets("Tablica").Range("K13")  
ax = (amax - amin) \* Rnd + amin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 9) = ax

pgmin = Sheets("Tablica").Range("J14")  
pgmax = Sheets("Tablica").Range("K14")  
pgx = (pgmax - pgmin) \* Rnd + pgmin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 10) = pgx

etamin = Sheets("Tablica").Range("J15")  
etamax = Sheets("Tablica").Range("K15")  
etax = (etamax - etamin) \* Rnd + etamin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 11) = etax

fomin = Sheets("Tablica").Range("J16")  
fomax = Sheets("Tablica").Range("K16")  
fox = (fomax - fomin) \* Rnd + fomin  
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 12) = fox  
 $d1 = 1 / (8760 * fox)$   
 $d2 = (Inx * px) / (1 - (1 + px) ^ (-nx))$

M = Round(nx, [0])  
L = Round(Nax, [0])



```
d3a = 0
For k = 1 To M
d3a = d3a + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3b = 0
For k = 1 To L
d3b = d3b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3 = d3a / d3b

d4 = Cosx

d5 = Cgx / etax

d6a = 0
For k = 1 To L
d6a = d6a + ((1 + pgx) ^ k) / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6b = 0
For k = 1 To L
d6b = d6b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6 = d6a / d6b

d7 = Copx

cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7
cex = Round(cex, 3)
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 14) = cex
Next i

End Sub
```

Dodatak za dobivanje cijene s uvrštenim eksternim troškovima u Visual Basicu izgleda ovako:

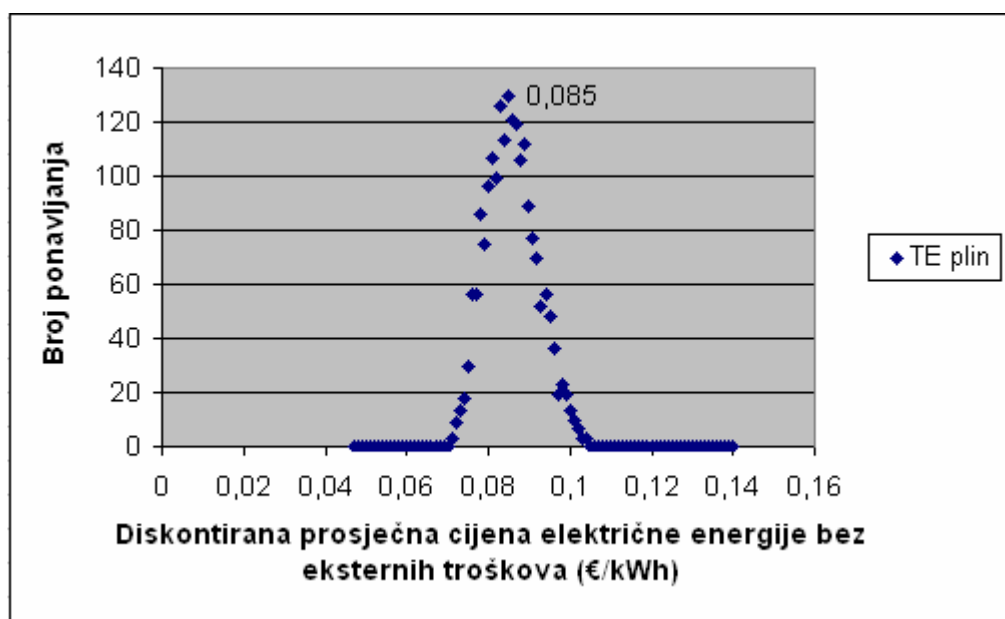
```
...
ETmin = Sheets("Tablica").Range("J17")
ETmax = Sheets("Tablica").Range("K17")
ETx = (ETmax - ETmin) * Rnd + ETmin
Sheets("TE plin").Cells(i + 7, 13) = ETx
...
d8 = ETx
...
cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7 + d8
...
```

#### 4.3.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima za termoelektiranu na plin

Dobivena cijena električne energije bez uvrštenih eksternih troškova kod kombiniranog postrojenja na plin iznosi 0,085 €/kWh, a dobivena minimalna i maksimalna cijena su 0,071 €/kWh i 0,104 €/kWh. U usporedbi s termoelektiranom na ugljen cijena proizvedene električne energije je veća za oko 2,5 eurocenta.

Maksimum	0,104
Minimum	0,071
Cijena koja se najviše ponavlja	0,085

Slika 8. Dobivena cijena bez ET u Excelu za TE na plin

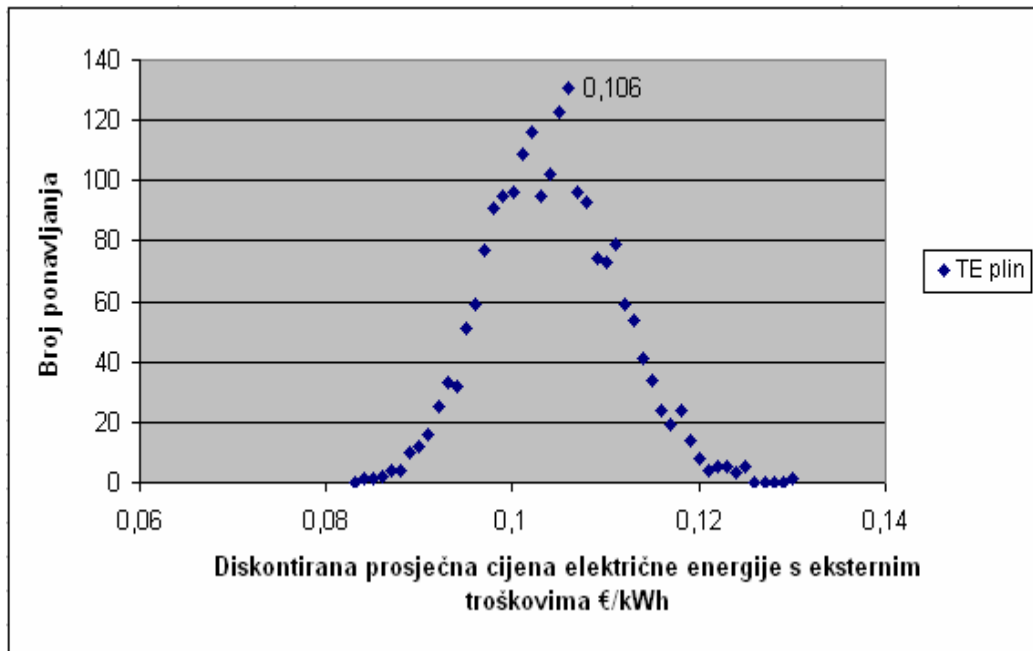


Slika 9. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za TE na plin

Uvrštavanjem eksternih troškova koji su niži oko tri puta nego kod termoelektreane na ugljen cijena proizvedene električne energije se poveća na 0,106 €/kWh. Kada se ti rezultati usporede s dobivenim rezultatima kod termoelektreane na ugljen vidi se da su dobivene cijene električne energije s uvrštenim eksternim troškovima identične.

Maksimum	0,130
Minimum	0,084
Cijena koja se najviše ponavlja	0,106

Slika 10. Dobivena cijena bez ET u Excelu



Slika 11. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za TE na plin

#### 4.4 Proračun cijene – nuklearna elektrana

Program za proračun cijene električne energije bez eksternih troškova napisan u Visual Basicu za nuklearnu elektranu izgleda ovako:

```
Sub Cijena_nuklearka()
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim nmin, nmax As Integer
```

```
Dim Namin, Namax As Integer
```

```
x = Sheets("Tablica").Range("F21") 'Broj proračuna'
```

```
Cgmin = Sheets("Tablica").Range("M8")
```

```
Cgmax = Sheets("Tablica").Range("N8")
```

```
Cgmin1 = (Cgmin * 36) / 10 ^ 4 'preračunavne cijene goriva iz
```

```
Cgmax1 = (Cgmax * 36) / 10 ^ 4 '€/GJ u €/kWh
```

```
For i = 1 To x
```

```
Inmin = Sheets("Tablica").Range("M6")
```

```
Inmax = Sheets("Tablica").Range("N6")
```

```
Inx = (Inmax - Inmin) * Rnd + Inmin
```

```
Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 2) = Inx
```

```
Cosmin = Sheets("Tablica").Range("M7")
```

```
Cosmax = Sheets("Tablica").Range("N7")
```

$\text{Cosx} = (\text{Cosmax} - \text{Cosmin}) * \text{Rnd} + \text{Cosmin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 3) = Cosx`

$\text{Cgx} = (\text{Cgmax1} - \text{Cgmin1}) * \text{Rnd} + \text{Cgmin1}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 4) = Cgx`

$\text{Copmin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M9")}$   
 $\text{Copmax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N9")}$   
 $\text{Copx} = (\text{Copmax} - \text{Copmin}) * \text{Rnd} + \text{Copmin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 5) = Copx`

$\text{Namin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M10")}$   
 $\text{Namax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N10")}$   
 $\text{Nax} = (\text{Namax} - \text{Namin}) * \text{Rnd} + \text{Namin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 6) = Nax`

$\text{nmin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M11")}$   
 $\text{nmax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N11")}$   
 $\text{nx} = (\text{nmax} - \text{nmin}) * \text{Rnd} + \text{nmin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 7) = nx`

$\text{pmin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M12")}$   
 $\text{pmax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N12")}$   
 $\text{px} = (\text{pmax} - \text{pmin}) * \text{Rnd} + \text{pmin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 8) = px`

$\text{amin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M13")}$   
 $\text{amax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N13")}$   
 $\text{ax} = (\text{amax} - \text{amin}) * \text{Rnd} + \text{amin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 9) = ax`

$\text{pgmin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M14")}$   
 $\text{pgmax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N14")}$   
 $\text{pgx} = (\text{pgmax} - \text{pgmin}) * \text{Rnd} + \text{pgmin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 10) = pgx`

$\text{etamin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M15")}$   
 $\text{etamax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N15")}$   
 $\text{etax} = (\text{etamax} - \text{etamin}) * \text{Rnd} + \text{etamin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 11) = etax`

$\text{fomin} = \text{Sheets("Tablica").Range("M16")}$   
 $\text{fomax} = \text{Sheets("Tablica").Range("N16")}$   
 $\text{fox} = (\text{fomax} - \text{fomin}) * \text{Rnd} + \text{fomin}$   
`Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 12) = fox`

$\text{d1} = 1 / (8760 * \text{fox})$   
 $\text{d2} = (\text{Inx} * \text{px}) / (1 - (1 + \text{px}) ^ (-\text{nx}))$   
 $\text{M} = \text{Round}(\text{nx}, [0])$   
 $\text{L} = \text{Round}(\text{Nax}, [0])$

```
d3a = 0
For k = 1 To M
d3a = d3a + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3b = 0
For k = 1 To L
d3b = d3b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3 = d3a / d3
d4 = Cosx

d5 = Cgx / etax

d6a = 0
For k = 1 To L
d6a = d6a + ((1 + pgx) ^ k) / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6b = 0
For k = 1 To L
d6b = d6b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6 = d6a / d6b

d7 = Copx

cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7
cex = Round(cex, 3)
Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 14) = cex
Next i

End Sub
```

Dodatak za dobivanje cijene s uvrštenim eksternim troškovima u Visual Basicu izgleda ovako:

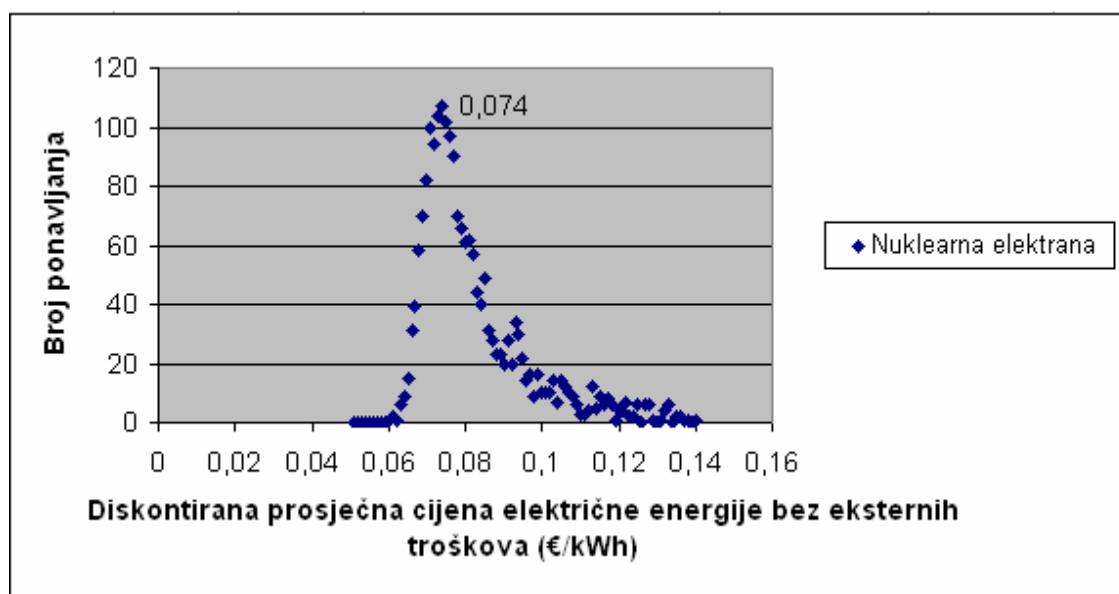
```
...
ETmin = Sheets("Tablica").Range("M17")
ETmax = Sheets("Tablica").Range("N17")
ETx = (ETmax - ETmin) * Rnd + ETmin
Sheets("Nuklearka").Cells(i + 7, 13) = ETx
...
d8 = ETx
...
cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7 + d8
...
```

#### 4.4.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod nuklearne elektrane

Najrealnija proizvodna cijena električne energije bez eksternih troškova za nuklearnu elektranu dobivena programom u Visual Basicu iznosi 0,074 €/kWh i krće se u rasponu od 0,06 €/kWh do 0,151 €/kWh. Cijena električne energije za nuklearnu elektranu je veća od cijene u termoelektrani na ugljen, ali manja od cijene u termoelektrani na plin.

Maksimum	0,151
Minimum	0,060
Cijena koja se najviše ponavlja	0,074

Slika 12. Dobivena cijena bez ET u Excelu za nuklearnu elektranu

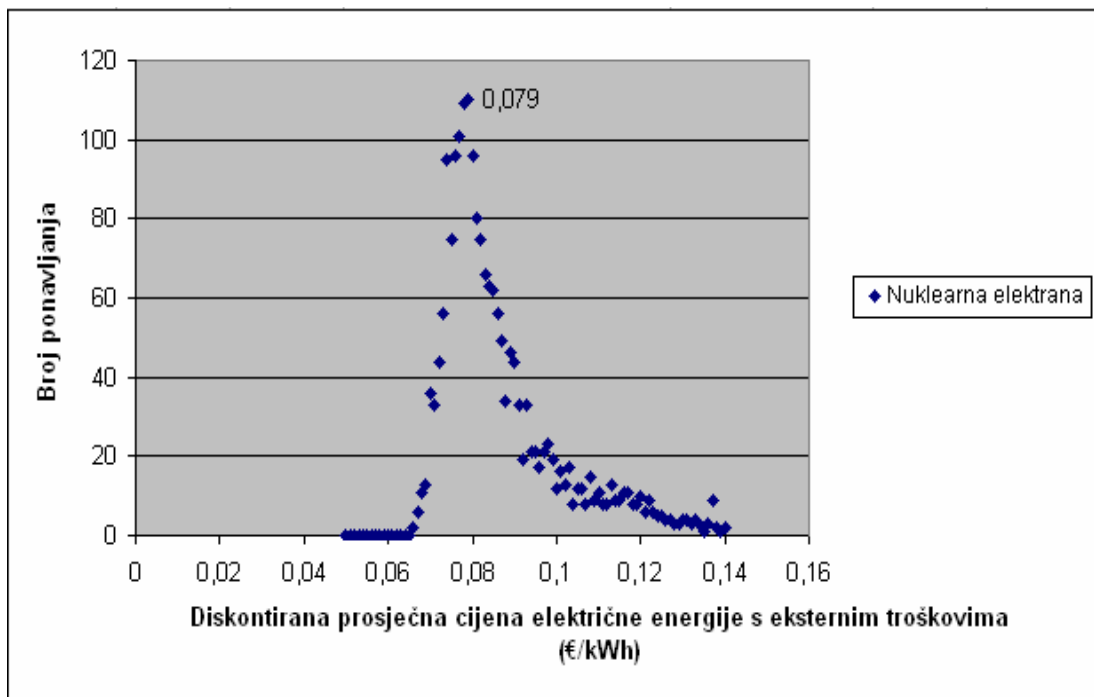


Slika 13. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za nuklearnu elektranu

Eksterni troškovi za nuklearnu elektranu nisu visoki kao kod termoelektrane na ugljen i plin, pa je cijena električne energije uvrštavanjem eksternih troškova tek neznatno porasla. Cijena električne energije s uvrštenim eksternim troškovima iznosi 0,079 €/kWh.

Maksimum	0,162
Minimum	0,066
Cijena koja se najviše ponavlja	0,079

Slika 14. Dobivena cijena s ET u Excelu za nuklearnu elektranu



Slika 15. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za nuklearnu elektranu

#### 4.5 Proračun cijene – vjetroelektrana

Program za proračun cijene električne energije bez eksternih troškova napisan u Visual Basicu za vjetroelektranu izgleda ovako:

```
Sub Cijena_vjetroelektrana()
```

```
Dim i As Integer
```

```
Dim nmin, nmax As Integer
```

```
Dim Namin, Namax As Integer
```

```
x = Sheets("Tablica").Range("F21") 'Broj proračuna'
```

```
Cgmin = Sheets("Tablica").Range("P8")
```

```
Cgmax = Sheets("Tablica").Range("Q8")
```

```
Cgmin1 = (Cgmin * 36) / 10 ^ 4 'preračunavne cijene goriva iz
```

```
Cgmax1 = (Cgmax * 36) / 10 ^ 4 '€/GJ u €/kWh
```

```
For i = 1 To x
```

```
Inmin = Sheets("Tablica").Range("P6")
```

```
Inmax = Sheets("Tablica").Range("Q6")
```

```
Inx = (Inmax - Inmin) * Rnd + Inmin
```

```
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 2) = Inx
```

```
Cosmin = Sheets("Tablica").Range("P7")
```

```
Cosmax = Sheets("Tablica").Range("Q7")  
Cosx = (Cosmax - Cosmin) * Rnd + Cosmin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 3) = Cosx
```

```
Cgx = (Cgmax1 - Cgmin1) * Rnd + Cgmin1  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 4) = Cgx
```

```
Copmin = Sheets("Tablica").Range("P9")  
Copmax = Sheets("Tablica").Range("Q9")  
Copx = (Copmax - Copmin) * Rnd + Copmin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 5) = Copx
```

```
Namin = Sheets("Tablica").Range("P10")  
Namax = Sheets("Tablica").Range("Q10")  
Nax = (Namax - Namin) * Rnd + Namin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 6) = Nax
```

```
nmin = Sheets("Tablica").Range("P11")  
nmax = Sheets("Tablica").Range("Q11")  
nx = (nmax - nmin) * Rnd + nmin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 7) = nx
```

```
pmin = Sheets("Tablica").Range("P12")  
pmax = Sheets("Tablica").Range("Q12")  
px = (pmax - pmin) * Rnd + pmin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 8) = px
```

```
amin = Sheets("Tablica").Range("P13")  
amax = Sheets("Tablica").Range("Q13")  
ax = (amax - amin) * Rnd + amin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 9) = ax
```

```
pgmin = Sheets("Tablica").Range("P14")  
pgmax = Sheets("Tablica").Range("Q14")  
pgx = (pgmax - pgmin) * Rnd + pgmin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 10) = pgx  
etamin = Sheets("Tablica").Range("P15")  
etamax = Sheets("Tablica").Range("Q15")  
etax = (etamax - etamin) * Rnd + etamin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 11) = etax
```

```
fomin = Sheets("Tablica").Range("P16")  
fomax = Sheets("Tablica").Range("Q16")  
fox = (fomax - fomin) * Rnd + fomin  
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 12) = fox
```

```
d1 = 1 / (8760 * fox)  
d2 = (Inx * px) / (1 - (1 + px) ^ (-nx))  
M = Round(nx, [0])  
L = Round(Nax, [0])
```



```
d3a = 0
For k = 1 To M
d3a = d3a + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3b = 0
For k = 1 To L
d3b = d3b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d3 = d3a / d3b

d4 = Cosx

d5 = Cgx / etax

d6a = 0
For k = 1 To L
d6a = d6a + ((1 + pgx) ^ k) / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6b = 0
For k = 1 To L
d6b = d6b + 1 / ((1 + ax) ^ k)
Next

d6 = d6a / d6b

d7 = Copx

cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7
cex = Round(cex, 3)
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 14) = cex
Next i

End Sub
```

Dodatak za dobivanje cijene s uvrštenim eksternim troškovima u Visual Basicu izgleda ovako:

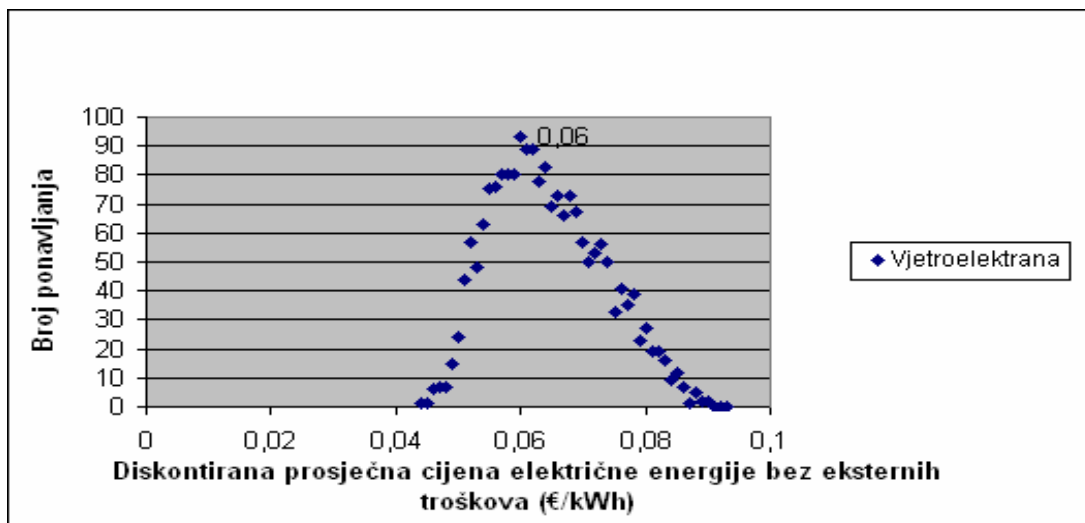
```
...
ETmin = Sheets("Tablica").Range("P17")
ETmax = Sheets("Tablica").Range("Q17")
ETx = (ETmax - ETmin) * Rnd + ETmin
Sheets("Vjetroelektrana").Cells(i + 7, 13) = ETx
...
d8 = ETx
...
cex = d1 * (d2 * d3 + d4) + d5 * d6 + d7 + d8
```

#### 4.5.1 Usporedba dobivene cijene električne energije s neuvrštenim i uvrštenim eksternim troškovima kod vjetroelektrane

Proizvodna cijena električne energije bez uvrštenih eksternih troškova se kreće u rasponu od 0,044 €/kWh do 0,09 €/kWh, a najrealnija cijena električne energije je 0,06 €/kWh. Po ovome izračunu vjetroelektrane su u kontekstu cijene električne energije konkurentne ostalim tipovima elektrana. Cijena električne energije je niža nego kod nuklearne elektrane i termoelektrane na plin, dok je malo viša nego kod termoelektrane na ugljen.

Maksimum	0,090
Minimum	0,044
Cijena koja se najviše ponavlja	0,06

Slika 16. Dobivena cijena bez ET u Excelu za vjetroelektranu

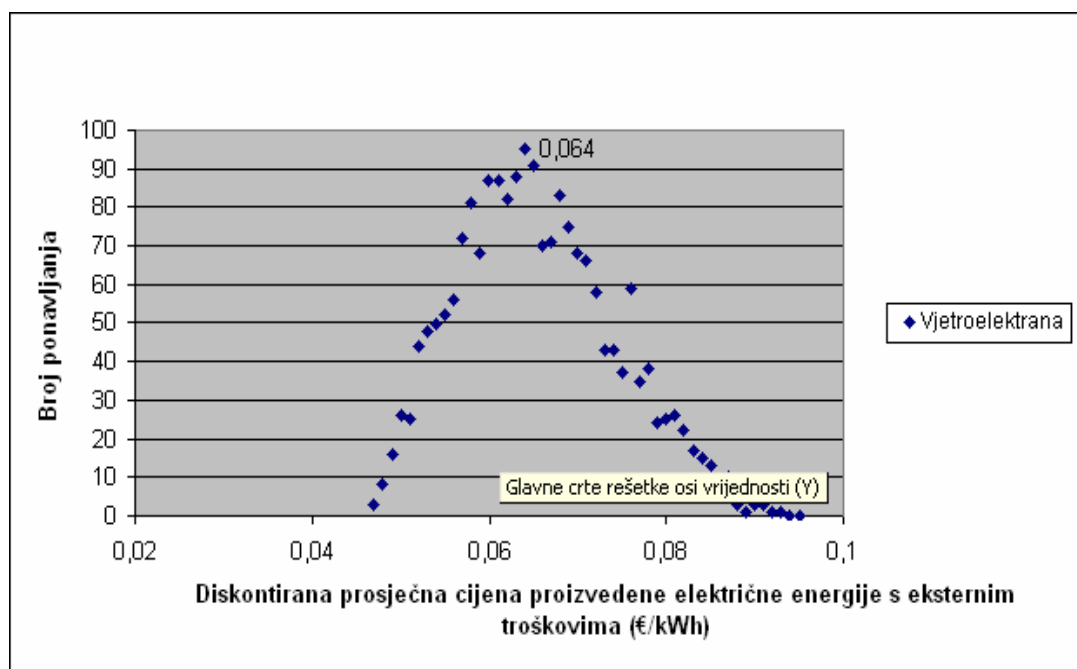


Slika 17. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za vjetroelektranu

Eksterni troškovi kod vjetroelektrana su najniži u odnosu na ostala tri tipa elektrana, tako da uvrštenje eksternih troškova u proračun ne utječe pretjerano na cijenu električne energije. Nova cijena električne energije iznosi 0,064 €/kWh.

Maksimum	0,093
Minimum	0,045
Cijena koja se najviše ponavlja	0,064

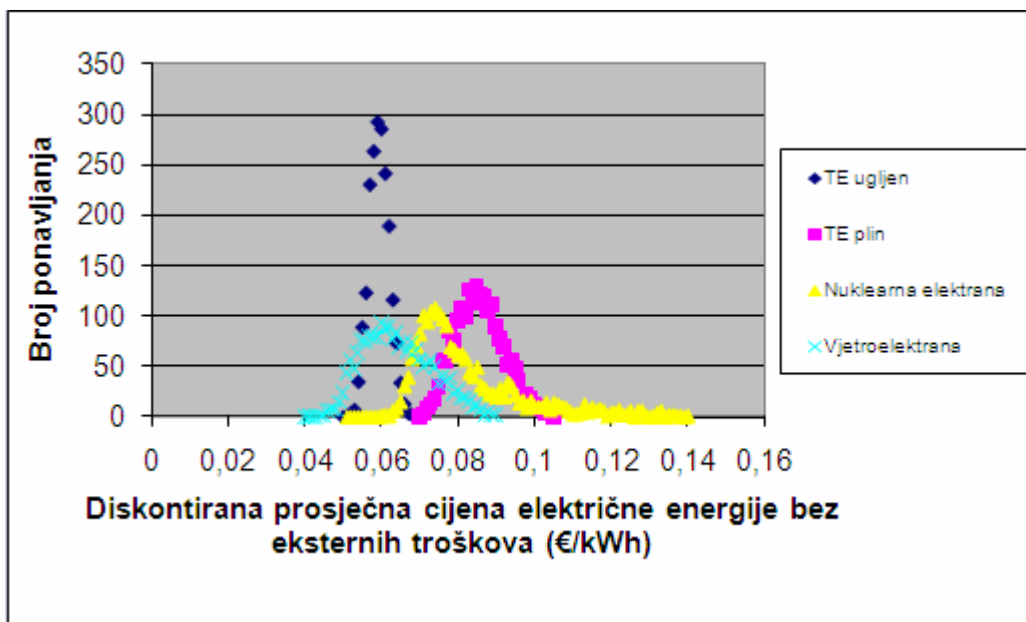
Slika 18. Dobivena cijena s ET za vjetroelektranu



Slika 19. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za vjetroelektranu

#### 4.6 Usporedba cijene električne energije za četiri tipa elektrana

Rezultati proračuna prosječne cijene proizvedene električne energije u životnoj dobi elektrane bez utjecaja eksternih troškova su dati slikom 16.



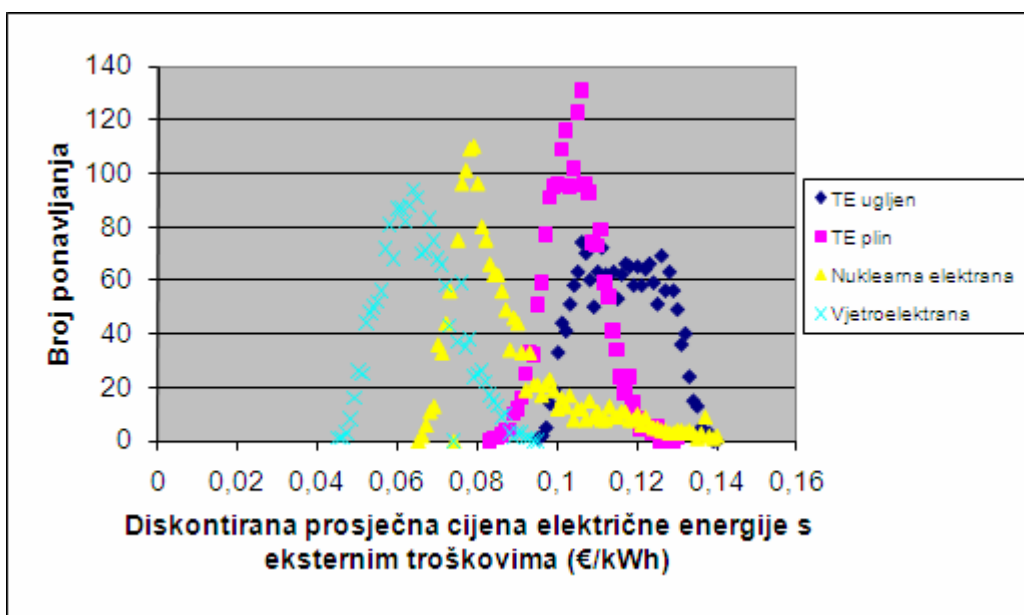
Slika 20. Raspodjela dobivenih cijena električne energije bez ET za 4 tipa elektrana

Rezultat nam pokazuje da bi uz zanemarivanje eksternih troškova i uz navedene ulazne podatke cijena električne energije u životnoj dobi elektrane bila najniža u termoelektrani na ugljen gdje bi iznosila 0,059 €/kWh. Cijena električne energije u životnoj dobi elektrane kod termoelektrane na plin bi bila veća nego kod termoelektrane na ugljen i iznosila bi 0,085 €/kWh. Najvjerojatniji razlog tomu je visoka cijena prirodnog plina te očekivano poskupljenje plina u životnom vijeku elektrane koje je veće nego očekivano poskupljenje ugljena.

Uz ove ulazne podatke cijena električne energije u životnom vijeku vjetroelektrane je konkurentna ostalim tipovima elektrana. Cijene električne energije iz vjetroelektrana se kreće između 0,07–0,1 €/kWh za područja s prosječno malim brzinama vjetra te između 0,05–0,065 €/kWh za vjetrovita obalna područja [7]. Ovim proračunom je dobivena cijena od 0,06 €/kWh što proizvodnju električne energije iz vjetroelektrana svrstava odmah iza proizvodnje električne energije iz termoelektrane na ugljen. Dobivena cijena električne energije u životnom vijeku nuklearne elektrane je niža od dobivene cijene iz termoelektrane na plin, ali je viša od dobivenih cijena za termoelektranu na ugljen i vjetroelektranu i iznosi 0,074 €/kWh.

Uvrštavanjem eksternih troškova očekivana cijena električne energije u životnom vijeku pojedinih tipova elektrana će porasti. Najveći eksterni troškovi su kod termoelektrane na ugljen jer ugljen izgaranjem oslobađa velike količine CO<sub>2</sub> koje bi po Kyoto protokolu trebalo smanjivati. Eksterni troškovi kod termoelektrane na ugljen se kreću između 4-7 €centi/kWh i veći su tri, četiri puta nego kod termoelektrane na plin. Nuklearne elektrane su što se tiče eksternih troškova u prednosti pred termoelektranom na plin i ugljen i imaju znatno niže eksterne troškove. Ipak, najniže eksterne troškove imaju vjetroelektrane.

Kada se uvrste eksterni troškovi očekivane cijene električne energije iz termoelektrana na ugljen i plin se izjednače i iznose 0,106 €/kWh. Kako su eksterni troškovi za nuklearnu elektranu i vjetroelektranu dosta niži nego kod termoelektrana na ugljen i plin očekivana cijena električne energije će porasti tek neznatno. Dobivena cijena električne energije s uvrštenim eksternim troškovima za nuklearnu elektranu je 0,079 €/kWh, a za vjetroelektranu 0,064 €/kWh. Rezultati proračuna prosječne cijene proizvedene električne energije u životnoj dobi elektrane s uvrštenim eksternim troškovima su dati slikom 21.



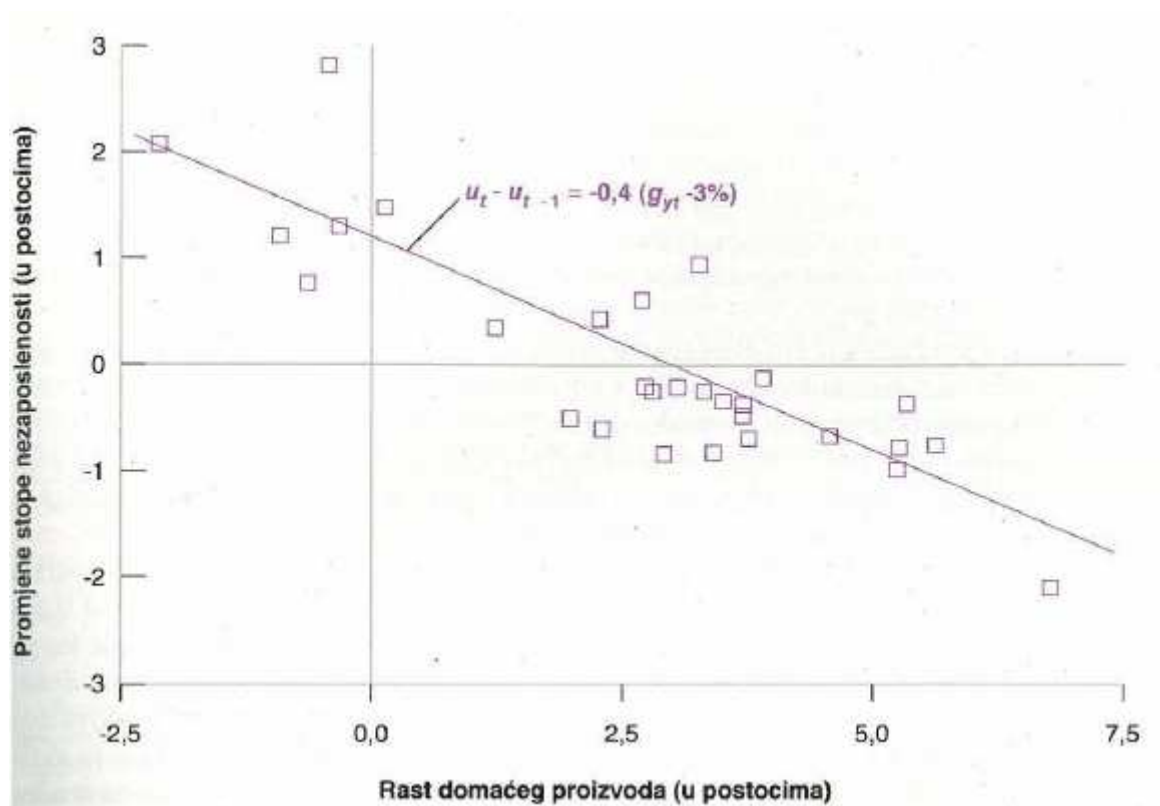
*Slika 21. Raspodjela dobivenih cijena električne energije s ET za 4 tipa elektrana*

## 5. EKONOMSKO-SOCIJALNE IMPLIKACIJE

Treći dio zadatka je bio procijeniti konkurentnost pojedinog tipa elektrane uzimajući u obzir potencijal domaće industrije za uključenje u izgradnju tih elektrana. To je učinjeno preko Okunovog zakona koji povezuje stopu rasta BDP-a i stopu nezaposlenosti.

### 5.1 Okunov zakon

Okunov zakon prikazuje stvarnu povezanost između rasta domaćeg proizvoda i promjene stope nezaposlenosti (slika 22.).



Slika 22. Promjena stope nezaposlenosti u odnosu na stopu rasta domaćeg proizvoda [10]

Na ovoj slici je prikazan pravac regresije koji najbolje odgovara raspršenim točkama. Relacija koja odgovara pravcu dana je ovim izrazom:

$$u_t - u_{t-1} = -0,4 \cdot (g_{yt} - 3\%) \quad (3)$$

Jednadžba (3) prikazuje negativan odnos između promjene nezaposlenosti i rasta domaćeg proizvoda. Za sprječavanje rasta stope nezaposlenosti godišnji rast domaćeg proizvoda treba biti najmanje 3%. Na to utječu dva čimbenika: veličina radne snage i produktivnost rada koji

rastu tijekom vremena. Kako bi stopa nezaposlenosti ostala ista, zaposlenost mora rasti po jednakoj stopi kao i radna snaga. Ako se pretpostavi da radna snaga raste 1,7% godišnje zaposlenost mora rasti 1,7% godišnje. (makroekonomija) Isto tako, ako produktivnost rada raste za 1,3% godišnje, to nam pokazuje da domaći proizvod mora rasti  $1,7\% + 1,3\% = 3\%$  godišnje [10].

U SAD-u je zbroj stope rasta radne snage i produktivnosti rada u prosjeku iznosio 3% godišnje od 1960. godine, i to je razlog zašto se broj 3% pojavljuje na desnoj strani jednadžbe (3). Taj broj se razlikuje od zemlje do zemlje. Stopu rasta domaćeg proizvoda koja je potrebna da bi se zadržala nepromijenjena stopa nezaposlenosti nazivamo normalna stopa rasta. Koeficijent -0,4 na desnoj strani jednadžbe (3) nam govori da rast domaćeg proizvoda za 1% iznad normalne stope rasta dovodi do smanjenja stope nezaposlenosti od 0,4%.

Jednadžba (3) može se napisati općenitije pomoću slova. Koeficijent  $\beta$  mjeri učinak rasta domaćeg proizvoda iznad normalne stope na stopu nezaposlenosti (u SAD-u iznosi 0,4), a  $\bar{g}_y$  tildano označava normalnu stopu rasta gospodarstva (oko 3% godišnje u SAD-u).

$$u_t - u_{t-1} = -\beta \cdot (g_{yt} - \bar{g}_y) \quad (4)$$

## 5.2 Utjecaj gradnje pojedinih elektrana na ekonomiju Hrvatske

Ovdje je cilj analizirati konkurentnost pojedinog tipa elektrane i utjecaj koji bi gradnja pojedinog tipa elektrane imala na ekonomska zbivanja u Hrvatskoj. To je učinjeno preko Okunovog zakona. Za proračun su nam potrebni podaci o bruto društvenom proizvodu Hrvatske, broju zaposlenih i nezaposlenih te stopa nezaposlenosti u Hrvatskoj koja se izračuna preko formule:

$$\text{stopa nezaposlenosti} = \frac{\text{broj nezaposlenih}}{\text{broj nezaposlenih} + \text{broj zaposlenih}} \quad (5)$$

Ti podaci su nađeni u godišnjim izvještajima Hrvatske narodne banke [11], a mogu se naći i na stranicama hrvatskog Državnog zavoda za statistiku. U Hrvatskoj je bruto domaći proizvod u 2009. godini bio nešto veći od 45 milijardi eura, a broj nezaposlenih je u svibnju 2010. godine bio nešto manji od tristo tisuća. U Hrvatskoj je zaposleno oko 1,4 milijuna ljudi.

BDP Hrvatska (€)	45379000000
Broj nezaposlenih	296438
Broj zaposlenih	1416459
Stopa nezaposlenosti	17,31%
Tečaj euro-kuna	7,3

*Slika 23. Potrebni podaci uvršteni u Excelu*

Za proračun su uzete srednje vrijednosti navedenih graničnih vrijednosti ulaznih podataka (slika 3.) koji su ponovno popisani u jednu tablicu u Excelu (slika 24.). Uz pomoć funkcije PMT u Excelu izračunat je godišnji povrat investicije u €/kW. To je podatak koji nam govori kolika bi trebala biti rata u godini dana da bi se isplatila specifična investicija. Cijena goriva je izražena u €/GJ, ali je preračunata u potrebnu jedinicu €/kWh. Također je za ugljen i plin naveden trošak CO<sub>2</sub>, pa je trošku goriva kod tih elektrana dodan trošak CO<sub>2</sub>. Navedena je i cijena električne energije bez eksternih troškova u €centima/kWh i lipama/kWh. Pojedini navedeni podaci na slici 24. nisu potrebni u analizi socijalno-ekonomskih implikacija gradnje pojedinog tipa elektrane.



Naziv	Simbol	Jedinica	TE ugljen	TE plin	Nuklearna elektrana (NE)	Vjetroelektrana (VE)
Kamatna stopa	p	%	6,5%	6,5%	6,5%	6,5%
Broj godina povrata kredita	n	god	16	14	16	14
Broj godina rada elektrane	N	god	30	25	50	20
Specifična investicija	ln	€/kW	2150	900	3250	1025
Godišnji povrat investicije	lng	€/kW/god	164,64	73,78	220,72	93,03
Stalni troškovi pogona i održavanja	cos	€/kW	60	27	175	25
Promjenjivi troškovi pogona i održavanja	cop	€centi/kWh	0,35	0,27	0,85	0,25
Cijena goriva	cg	€/GJ	2,4	7,5	0,6	0
Cijena goriva	cg	€/kWh	0,00864	0,027	0,00216	0
Faktor snage	fo	-	0,85	0,7	0,875	0,25
Diskontna stopa	a	%	7,5%	7,5%	7,5%	7,5%
Stopa porasta cijene goriva	pg	%	1,5%	3%	1,5%	0%
Stupanj iskoristivosti	eta	%	40%	55%	33%	23%
Trošak CO <sub>2</sub>	cei	€/kWh	0,0155	0,0069		
Troškovi goriva (s CO <sub>2</sub> troškom)	cgc	€centi/kWh	2,414	3,390	0,216	0
Cijena električne energije	ce	€centi/kWh	5,9	8,5	7,4	6,0
		lipa/kWh	43,07	62,05	54,02	43,8

*Slika 24. Srednje vrijednosti ulaznih podataka*

Analiza socijalno-ekonomskih implikacija gradnje pojedinog tipa elektrane je rađena u odnosu na vjetroelektranu (slika 25.).

Naziv	Simbol	Jedinica	TE ugljen	TE plin	Nuklearna elektrana (NE)	Vjetroelektrana (VE)
Električna snaga	Pe	MW	294,12	357,14	285,71	1000
Faktor snage	fo		0,85	0,7	0,875	0,25
Proizvodnja električne energije	Ee	GWh	2190	2190	2190	2190
Godišnji povrat investicije	lgod	€/god (u milijunima)	48,42	26,35	63,06	93,03
Godišnji trošak goriva		€/god (u milijunima)	52,87	74,24	4,73	0,00
Domaći udio kod izgradnje		%	50%	50%	40%	70%
Ukupni uvoz		€/god (u milijunima)	77,08	87,42	42,57	27,91
Ukupna zarada koja ostaje u Hrvatskoj		€/god (u milijunima)	-28,65	-61,07	20,49	65,12
Razlika u uvozu u odnosu na VE		€/god (u milijunima)	49,17	59,51	14,66	0
Novi BDP Hrvatske		€/god (u milijunima)	45350,35	45317,93	45399,49	45444,12
Rast BDP-a		%	-0,06318%	-0,13475%	0,04514%	0,14329%
Promjena stope nezaposlenosti (Okunov zakon)		%	0,02527%	0,05390%	-0,01806%	-0,05732%
Nova stopa nezaposlenosti		%	17,33151%	17,36014%	17,28818%	17,24892%
Novi broj nezaposlenih			296871	297361	296129	295456
Broj novozaposlenih			-433	-923	309	982
Zaposlenost u odnosu na VE		%	-0,08259%	-0,11122%	-0,03926%	0%
Broj radnih mjesta u odnosu na vjetroelektranu			-1415	-1905	-672	0

*Slika 25. Analiza ekonomskih implikacija gradnje pojedine elektrane*

Pretpostavljeno je da će se raditi određen broj vjetroelektrana ukupne instalirane snage 1000 MW. Zatim je izračunato koliko će se električne energije u GWh dobiti iz vjetroelektrana u godini dana.

$$E_E = (8760 \cdot f_0 \cdot P_E) / 1000 \quad [GWh]$$

Dobiveni broj je 2190 GWh. I za druge elektrane je uzeto da će proizvesti 2190 GWh električne energije, ali zbog različitog faktora snage za njih neće biti potrebno instalirati 1000 MW snage. Instalirana električna snaga za ostale elektrane je izračunata preko formule (7):

$$P_E = (E_E \cdot 1000) / (8760 \cdot f_0) \quad [MW] \quad (7)$$

Godišnji povrat investicije za pojedinu elektranu je izračunat za ukupnu instaliranu snagu i dobiven je u milijunima eura u godini dana:

$$I_{god} = P_E \cdot 1000 \cdot I_{ng} \quad [€] \quad (8)$$

Također, trošak goriva je izračunat u milijunima eura u godini dana:

$$godišnji\ trošak\ goriva = \left( (E_e \cdot 10^6) \cdot (c_{gc} / 100) \right) \quad (9)$$

Udio hrvatske industrije u gradnji elektrana je pretpostavljen. Prilikom posjeta Končaru čuo sam podatak da će udio hrvatske industrije u gradnji vjetroelektrana biti oko 70% te je uzet taj podatak. Za nuklearnu elektranu sam pretpostavio 40%, a za termoelektrane na ugljen i plin 50%. Ukupni uvoz za pojedinu elektranu je zbroj troškova goriva i godišnjeg povrata investicije umanjenog za udio hrvatske industrije u gradnji elektrane. Nakon toga se izračuna zarada koja ostaje u Hrvatskoj. Najveća zarada bi ostala gradnjom vjetroelektrana, dok bismo još samo gradnjom nuklearne elektrane imali pozitivnu bilancu. Gradnjom termoelektrana na ugljen i plin Hrvatska bi više potrošila na uvoz nego što bi zaradila, tako da tu imamo negativnu bilancu.

Dobivena zarada je dodana na sadašnji BDP, tako da kod vjetroelektrana i nuklearne elektrane imamo rast domaćeg proizvoda dok kod termoelektrana na ugljen i plin imamo pad domaćeg proizvoda. Rast BDP-a je izračunat prema formuli (10):

$$Rast\ BDP - a = 1 - \frac{stari\ BDP}{novi\ BDP} \quad (10)$$

Nakon što je dobiven rast domaćeg proizvoda primijenjen je Okunov zakon. Za ovu analizu upotrijebljena je skraćena formula Okunovog zakona, tj. nije uzeta u obzir veličina radne snage i produktivnost rada. Okunovu jednadžbu možemo gledati kao jednadžbu pravca što ona u suštini i jest i pisati je ovako:

$$y = -0,4 \cdot x \quad (11)$$

Dobili smo x, a to je rast BDP-a te se sad lako dobije promjena stope nezaposlenosti y. Kod vjetroelektrane i nuklearne elektrane imamo pad stope nezaposlenosti, dok kod termoelektrana na plin i ugljen stopa nezaposlenosti raste. U apsolutnim brojkama to znači da

će se gradnjom vjetroelektrana dobiti 982 nova radna mjesta, gradnjom nuklearne elektrane 309 novih radnih mjesta, a gradnjom termoelektrana na ugljen i plin izgubit će se 433 i 923 radna mjesta (Slika 25.).

Za nuklearnu elektranu su važni i troškovi dekomisije (demoniranja i uklanjanja) starih elektrana., a to je i važna komponenta sigurnosti nuklearnih elektrana. Troškovi dekomisije se kod nuklearnih elektrana za razdoblje od 60 godina kreću između 0,5 €/MWh i 1 €/MWh [12].Trošak dekomisije za 2190 GWh energije je 1,6425 milijuna eura što povećava ukupni uvoz na 44,21 milijuna eura. To nam smanjuje ukupnu zaradu, ali bilanca još uvijek ostaje pozitivna (Slika 26.)

Naziv	Trošak	Jedinica
Dekomisija nuklearnih elektrana	0,75	€/MWh
	0,00075	€/kWh
Ukupno kilovatsati	2190000000	kWh
Trošak dekomisije (u milijunima €)	1,6425	(u milijunima €)
Ukupni uvoz s dekomisijom	44,21	(u milijunima €)
Ukupna zarada s dekomisijom	18,85	(u milijunima €)

*Slika 26. Troškovi dekomisije za nuklearnu elektranu*

## **6. ZAKLJUČAK**

Ekonomski razvoj svake zemlje je vezan uz potrošnju električne energije, tj. potrošnja električne energije u pojedinoj zemlji je pokazatelj razvijenosti te zemlje. Veza između rasta bruto domaćeg proizvoda i stope rasta potrošnje električne energije je ispitana za niz zemalja i uvijek pokazuje da rastom BDP-a raste i potrošnja električne energije u pojedinoj zemlji. To znači da se očekivana stopa rasta BDP-a ne može ostvariti bez ulaganja u nova postrojenja za proizvodnju električne energije, a savršen primjer za to je Hrvatska.

Ekonomski pokazatelji elektrana imaju veliki utjecaj u odluci koji tip postrojenja će se graditi i njegovoj prihvatljivosti kao proizvođača energije u ukupnom elektroenergetskom sustavu neke zemlje. U odluci o gradnji pojedinog tipa elektrane zanimljivo je razmotriti konkurentnost kandidata za gradnju u određenom razdoblju. Najbolji pokazatelj konkurentnosti pojedine elektrane je prosječna cijena proizvedene električne energije u životnom vijeku elektrane. Metoda koja se koristi za taj proračun, a koja je upotrijebljena i u ovom radu, je metoda proračun prosječne diskontirane cijene proizvedene energije na pragu elektrane, dobivene kao odnos diskontiranih troškova i diskontirane dobiti

U ovom radu su proračunate cijene električne energije za četiri elektrane: termoelektoranu na ugljen, termoelektoranu na plin (kombinirano postrojene), nuklearnu elektoranu i vjetroelektoranu. Cilj je bio vidjeti kakva bi cijena bila bez uvrštavanja eksternih troškova te kako bi uvrštavanje eksternih troškova utjecalo na cijenu električne energije za ova četiri tipa elektrane. Eksterni troškovi su najveći kod elektrane na ugljen, a najmanji kod vjetroelektrane.

Nakon izračunavanja cijena električne energije analiza socijalno-ekonomskih implikacija nam je pokazala kako bi gradnja pojedinog tipa elektrane utjecala na gospodarstvo i ekonomiju Hrvatske. Izračunat je broj radnih mjesta koji bi se mogli dobiti ili izgubiti gradnjom neke elektrane uzimajući u obzir utjecaj na povišenje ili smanjenje bruto domaćeg proizvoda.

## **LITERATURA:**

- [1] Feretić, D., Neki temeljni problemi proizvodnje električne energije u Hrvatskoj u kratkoročnom i srednjoročnom razdoblju, Energija, 2006., Vol.55 No.1, str. 36-71
- [2] Ugljen u svijetu, 2010., <http://www.worldcoal.org>
- [3] Ekonomija tehnologija za hvatanje ugljika, 2010.,  
<http://www.biofuelswatch.com/ccs-economics/>
- [4] Siemens Fuel Gasification Technology, 2007., <http://www.coal.org>
- [5] Svjetsko udruženje za nuklearnu energiju, 2010.,  
<http://www.world-nuclear.org>
- [6] Ekonomija nuklearnih elektrana, 2010.,  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Economics\\_of\\_new\\_nuclear\\_power\\_plants](http://en.wikipedia.org/wiki/Economics_of_new_nuclear_power_plants)
- [7] Činjenice o vjetroelektranama i ekonomija vjetroelektrana , 2009.,  
[www.wind-energy-the-facts.org/fr/part-3-economics-of-wind-power/](http://www.wind-energy-the-facts.org/fr/part-3-economics-of-wind-power/)
- [8] Europsko udruženje za vjetar, 2010., <http://www.ewea.org/>
- [9] Skupina autora, External Costs – Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport, 2003., <http://www.externe.info/externpr.pdf>
- [10] Blanchard, O., Makroekonomija, Mate d.o.o, Zagreb, 2007.
- [11] Hrvatska narodna banka, Ekonomski indikatori, 2010.  
[http://www.hnb.hr/statistika/h-ekonomski\\_indikatori.htm](http://www.hnb.hr/statistika/h-ekonomski_indikatori.htm) ,
- [12] Granić, G., Kako promišljati energetska budućnost?, Poslovni dnevnik, 2009.